

ВЛИЯНИЕ ДВОЙНИКОВ НА МАГНЕТСОПРОТИВЛЕНИЕ Sb

Ю. А. Богод, Б. И. Веркин, В. Б. Красовицкий,
С. В. Цивинский

Как известно, в ряде кристаллов под действием внешней силы до наступления разрушения происходит переброс решетки в новое положение и образуется механический двойник. Двойниковая часть кристалла является зеркальным отражением решетки кристалла в некоторой плоскости, называемой плоскостью двойниковогоания.

В настоящей работе предпринята попытка выяснить влияние плоскостей двойниковогоания¹⁾ на магнетосопротивление Sb при низких температурах. Измерения проводились на монокристалле с весьма совершенной структурой (плотность дислокаций на плоскости (111), определяемая с помощью ямок травления, не превышала 10^2 см^{-2}), выращенном методом вытягивания из расплава [1].

Для создания механических двойников образец погружался в жидкий азот и его край отламывался. В результате часть образца, прилегающая к излому, пронизывалась двойниками, отстоящими друг от друга в среднем на 1 мм. Ширина каждого двойника была $\lesssim 10^{-2}$ мм, система плоскостей двойниковогоания имела миллеровские индексы (110).

¹⁾ Здесь и в дальнейшем, говоря о влиянии плоскостей двойниковогоания на кинетические свойства Sb, авторы имеют в виду реальные границы двойников, а не идеальные математические поверхности, не имеющие толщины.

Магнетосопротивление "идеальной" и содержащей двойники частей кристалла (в дальнейшем для удобства мы будем называть их, соответственно, SbX и SbX') измерялось с помощью трех потенциальных контактов. Геометрия опыта показана на рис. 1.

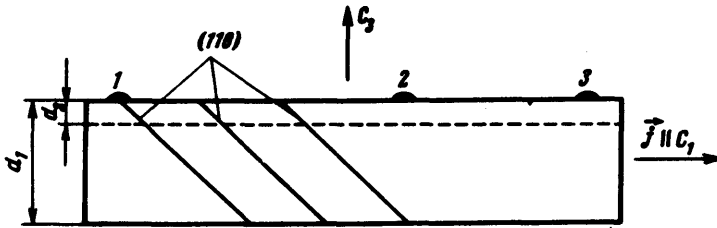


Рис. 1. Геометрическая схема опыта: d_1 и d_2 – начальная и конечная толщины образца; 1, 2, 3 – потенциальные контакты; (110) – плоскости двойникования (толщина линий, изображающих плоскости двойникования, включает двойниковые прослойки); J – вектор электрического тока

Измерения проводились в несколько этапов: сначала исследовался исходный образец $SbX - SbX'$ (его сечение имело форму, близкую к эллиптической, с экстремальными размерами $3,9 \times 2,9 \text{ мм}^2$), затем он дважды травился в царской водке и исследовался после каждого травления. Диапазон температур и магнитных полей в настоящей работе составлял $1,6 \pm 20 \text{ }^\circ\text{К}$ и $4 \pm 20 \text{ кэ}$.

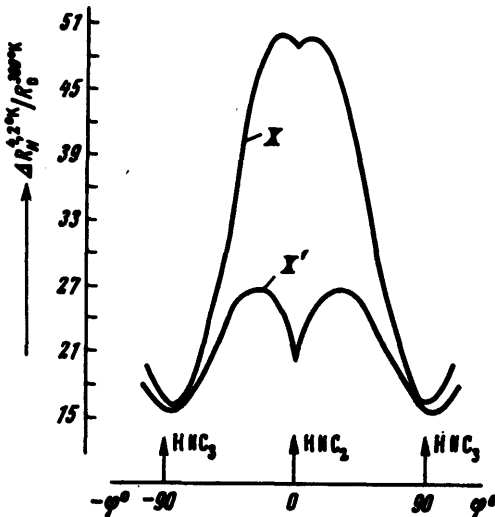


Рис. 2. Диаграммы вращения SbX и SbX' в магнитном поле. $H = 15 \text{ кэ}$, $T = 4,2^\circ\text{К}$

Опыты показали, что отношение электросопротивлений при комнатной и гелиевой температурах $R_0^{300^\circ\text{К}} / R_0^{4,2^\circ\text{К}}$, а также магнетосопротивление

$$\Delta R_H^{4,2^\circ\text{К}} / R_0^{300^\circ\text{К}} = \frac{R_H^{4,2^\circ\text{К}} - R_0^{4,2^\circ\text{К}}}{R_0^{300^\circ\text{К}}} \approx R_H^{4,2^\circ\text{К}} / R_0^{300^\circ\text{К}}$$

при $H \parallel C_3$ для SbX и SbX' отличаются всего на несколько процентов, в то время как в случае $H \parallel C_2$ различие магнетосопротивлений при гелиевой температуре (в исходном состоянии образца) составляет более 100% (рис. 2, таблица). Так как при $T = 20^\circ K$ указанное различие весьма незначительно, очевидно, что температурная зависимость $R_H^{T^\circ K}$ в образцах Sb со структурными дефектами сильно искажается (рис. 3).

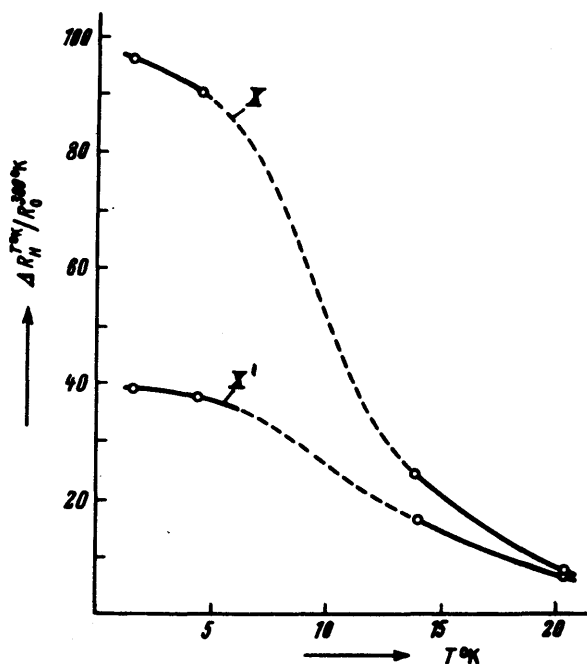


Рис. 3. Температурная зависимость магнетосопротивления. $H \parallel C_2$, $H = 20$ кэ

Образец ¹⁾	Поперечные размеры, мм ²	$R_0^{300^\circ K} / R_0^{4,2^\circ K}$		$\Delta R_H^{4,2^\circ K} / R_0^{300^\circ K}$; $H = 20$ кэ			
		SbX	SbX'	SbX		SbX'	
				$H \parallel C_2$	$H \parallel C_3$	$H \parallel C_2$	$H \parallel C_3$
$SbX - SbX'$	$3,9(C_2) \times 2,9(C_3)$	2100	1940	90,5	30,17	37,82	28,53
$SbXa - SbX'a$	$1,15(C_2) \times 1,45(C_3)$	1910	1650	77,5	27,8	44,5	26,8
$SbXб - SbX'б$	$0,7(C_2) \times 1,2(C_3)$	1750	1500	74,3	24,0	47,7	22,2

¹⁾ Индексы *a* и *б* соответствуют образцу после первого и второго травлений.

²⁾ В скобках указаны направления кристаллографических осей – бинарной (C_2) и тригональной (C_3).

По мере уменьшения толщины кристалла химическим травлением электропроводность и магнетосопротивление SbX также уменьшаются, что является следствием эффекта размеров [2]. Аналогично поведение электропроводности SbX' , а также магнетосопротивления при $H \parallel C_3$. Однако, для направлений поля вблизи C_2 магнетосопротивление SbX' уже не падает, а растет при уменьшении толщины образца¹⁾, стремясь к соответствующему значению для "идеальной" части кристалла (таблица).

Отсюда следует вывод, что чем тоньше образец, тем меньше влияние структурных дефектов данного типа на сопротивление сурьмы в магнитном поле.

Прежде всего отметим, что изменение электро- и магнетосопротивления, вызванное разориентацией двойников относительно материнской части кристалла, без учета рассеяния на границах двойников должно быть величиной того же порядка, что и отношение длины двойника к прилегающей части кристалла, и в данных экспериментах не может составлять более нескольких процентов. Поэтому мы предполагаем, что влияние внесенных в SbX' структурных дефектов на поперечное магнетосопротивление обусловлено, в основном, взаимодействием носителей заряда, дрейфующих в скрещенных полях перпендикулярно E и H (E — вектор электрического поля), с плоскостями двойникования. Очевидно, что при $H \parallel C_3$ взаимодействие должно быть минимальным, а при $H \parallel C_2$ — максимальным, так как в первом случае вектор дрейфовой скорости параллелен плоскости (110), а во втором случае при данной длине свободного пробега плоскости двойникования "чувствует" наибольшее число носителей (рис. 1). Далее, если изменение магнетосопротивления при $H \parallel C_2$ составляет более 100%, естественно предположить, что взаимодействие с границами двойников является основным для большинства носителей заряда механизмом релаксации импульса в объеме SbX' . Тогда наблюдаемое явление есть не что иное, как размерный эффект на границах двойников с характерной длиной свободного пробега L порядка толщины образца. Если это так, то чем меньше поперечный размер образца вдоль оси C_3 , тем меньше (см. рис. 1) относительное число носителей заряда взаимодействует с плоскостями двойникования, и, следовательно, тем ближе величина магнетосопротивления в части образца, содержащей двойники, к таковой для "идеальной" части кристалла, что находится в полном соответствии с экспериментальными данными (таблица).

Для реализации размерного эффекта на границах двойников необходимо, чтобы коэффициент отражения носителей заряда границей был достаточно велик. Если считать, что толщина слоя D вдоль границы, в котором решетка не может рассматриваться как идеальная (так называемая область аккомодации) много меньше длины волны де Бройля λ_B , то коэффициент отражения $K \sim (D/\lambda_B)^2$ [3]. Однако для Sb

¹⁾ Эффект воспроизводился на образцах с примерно такой же, как в SbX' плотностью двойников данной ориентации и близким исходным поперечным сечением.

область аккомодации может достигать десятка микрон [4]¹⁾, так что оценка коэффициента отражения затруднительна. К этому следует добавить, что величина K может существенно увеличиваться за счет возникновения на границах двойников связанного заряда, аналогичного тому, как это имеет место в полупроводниках [5].

Авторам приятно поблагодарить В.П.Солдатову и Ф.Ф.Лаврентьева за полезные обсуждения, а Г.А.Собакаря за техническую помощь.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
26 марта 1971 г.

Литература

- [1] Н.В.Бессонова и др., Материалы I совещания по получению полупроводниковых монокристаллов способом Степанова, Ленинград, ФТИ им. А.Ф.Иоффе АН СССР, 1968.
- [2] Ю.А.Богод, Б.И.Веркин, В.Б.Красовицкий. Письма в ЖЭТФ, 12, 224, 1970.
- [3] Д.Займан. Электроны и фононы, ИИЛ, 1962.
- [4] Ф.Ф.Лаврентьев. Кандидатская диссертация. ФТИНТ АН УССР, 1964.
- [5] W.E.Taylor, N.H.Oddel, H.J.Fan. Phys. Rev., 88, 867, 1952.

¹⁾ По данным [4] в отдельных случаях область аккомодации может достигать нескольких сот микрон. При таких размерах ее вклад в изменение магнетосопротивления сравним с изменениями, наблюдаемыми в настоящей работе. Однако, если влияние аккомодационной зоны сводится просто к уменьшению подвижности носителей заряда, то без дополнительных частных предположений не ясна причина анизотропного (относительно направления магнитного поля) изменения магнетосопротивления в части образца, содержащей двойники, а также причина малого изменения $R_{\circ}^{300^{\circ}\text{K}} / R_{\circ}^{4,2^{\circ}\text{K}}$ этой части кристалла.